

ارزیابی خواص مکانیکی گوجه‌فرنگی براساس هدایت الکتریکی

محمد قاسمی^۱ - مهدی خجسته پور^{۲*} - محمدحسین آق‌خانی^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۲۵

چکیده

ارزیابی خواص مکانیکی و الکتریکی محصولات کشاورزی نقش مهمی در طراحی تجهیزات و بهینه‌کردن عملیات پس از برداشت دارد. در میان محصولات کشاورزی، گوجه‌فرنگی و فرآورده‌های آن یکی از مهم‌ترین تولیدات صنایع تبدیلی در جهان می‌باشد و روز به روز بر اهمیت اقتصادی آن افزوده می‌شود. با توجه به اهمیت کیفیت و مصارف گوناگون گوجه‌فرنگی پس از برداشت، ارزیابی خواص مکانیکی شامل نیرو و تغییر شکل گسیختگی و کار انجام گرفته برای ایجاد گسیختگی دو رقم گوجه‌فرنگی (پتواری سی اچ و نیوتن) تحت آزمون نفوذ بر اساس هدایت الکتریکی مورد مطالعه قرار گرفت. خواص نام برده شده در سه سطح زمانی ۱، ۳ و ۵ روز پس از برداشت اندازه‌گیری شدند. خواص مکانیکی مورد ارزیابی در هر دو رقم با افزایش زمان نگهداری در طی آزمون نفوذ کاهش یافت. تأثیر متقابل رقم و زمان بر روی همه پارامترهای مکانیکی به‌جز تغییر شکل گسیختگی ارقام مورد بررسی در سطح ۱٪ معنی‌دار شد. هدایت الکتریکی هر دو رقم با افزایش زمان نگهداری کاهش یافت. روابط معنی‌داری در سطح ۱٪ میان هدایت الکتریکی و خواص مکانیکی به‌جز تغییر شکل شکست رقم پتواری سی اچ یافت شد. در میان پارامترهای مکانیکی نیروهای گسیختگی و کار گسیختگی هر دو رقم با هدایت الکتریکی همبستگی داشتند.

واژه‌های کلیدی: خواص مکانیکی، گوجه‌فرنگی، هدایت الکتریکی

مقدمه

رفتار مکانیکی پوست گوجه‌فرنگی دارای اهمیت اقتصادی قابل توجهی می‌باشد، بنابراین گزارش نتایج مکانیکی پوست برای تولیدکنندگان و کارخانجات فرآوری میوه بسیار اساسی است (Bargel and Neinhuis, 2005). به‌عنوان مثال کارخانجات صنایع تبدیلی، پوست ضخیم و سفت را به‌علت پوست‌گیری آسان‌تر ترجیح می‌دهند در حالی که مصرف‌کنندگان محصول تازه با پوست نازک و نرم را به‌علت خوردن راحت ترجیح می‌دهند. مقاومت پوست برای جلوگیری از دست رفتن عصاره بسیار مهم می‌باشد، زیرا ترک‌های ایجاد شده بر روی پوست به عصاره اجازه خارج شدن می‌دهند و گوجه‌فرنگی‌های ترک خورده اغلب شکننده و در برابر بیماری‌ها حساس هستند (Hetzronia et al., 2011). از این‌رو آگاهی از خواص مکانیکی میوه گوجه‌فرنگی، از اهمیت زیادی برخوردار بوده و در طراحی سامانه جابه‌جایی، بسته‌بندی و حمل و نقل این محصول کاربرد دارد. روش‌های کلاسیکی برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی مواد مهندسی به‌کار برده شده است، مسئله اصلی در این مورد برخلاف مواد معمول مهندسی تفاوت بافت گیاه می‌باشد که دارای یک ساختار پیچیده سلسله مراتبی است، برای مثال یک میوه شبیه گوجه‌فرنگی شامل یک اختلاط پیچیده از بافت‌های متفاوت: پوست، لایه رویی و دانه می‌باشد و هر بافت دارای تعداد زیادی جزء اصلی بزرگ مانند سلول‌ها، لایه‌های میانی و اجزای واقع درون آن‌ها می‌باشد.

گوجه‌فرنگی^۴ (*Lycopersicon Esculentum M.*) با سطح زیر کشت حدود سه میلیون هکتار، یکی از مهم‌ترین سبزیجات تجاری جهان به‌شمار می‌رود. به لحاظ میزان تولید، ایران رتبه هفتم را به‌خود اختصاص داده است. مطابق آمار ارائه شده، تولید جهانی این محصول در سال ۲۰۱۰ بیش از ۱۴۵/۷ میلیون تن بوده است که سهم ایران از آن در حدود ۳/۶۴ درصد بود (FAO, 2010). اطلاع از رفتار مکانیکی گوجه‌فرنگی در پیش‌بینی شرایطی که منجر به ایجاد آسیب مکانیکی در زمان برداشت و حمل و نقل می‌شود و همچنین در بهینه‌سازی ماشین‌های فرآوری اهمیت دارد (Mohammadi Aylar et al., 2011). در این رابطه پژوهش‌گران نشان دادند که بین خواص مکانیکی این محصول و آسیب‌پذیری آن رابطه خطی با ضریب تبیین^۵ ۰/۷۸ وجود دارد (Desmet et al., 2002). از طرفی دیگر،

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۲ و ۳- دانشیار گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: mkhpour@um.ac.ir)

*- نویسنده مسئول:

4- Tomato

5- Coefficient of determination

به ترتیب از شهرک گلخانه‌ای توس واقع در شهرستان چناران و مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شدند. تعداد نمونه‌های برداشت شده برای هر واریته فوق‌الذکر ۸۰ عدد بود. نمونه‌ها که عاری از هرگونه جراحت و ضرب‌خوردگی بودند در همان روز به انبار گروه صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شدند. نمونه‌ها قبل از انجام آزمایش‌ها، در شرایط کنترل شده دمای ۱۸-۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۰ درصد قرار گرفتند، آزمایش‌ها در سه بازه زمانی ۱، ۳ و ۵ روز پس از برداشت انجام گرفتند تا تأثیر زمان انجام آزمون‌ها بر روی پارامترهای اندازه‌گیری مورد بررسی قرار گیرد. به منظور تعیین محتوای رطوبتی^۹ در روز برداشت، نمونه‌ها برش داده شده از یک آن با تبادل هوای گرم با دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ روز استفاده گردید (AOAC, 1984). محتوای رطوبتی نمونه‌ها در ۳ تکرار محاسبه گردید و مقدار میانگین محتوای رطوبتی ۸۱٪ برای گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای و مقدار ۷۲٪ برای گوجه‌فرنگی بونه‌ای به دست آمد.

روش‌های سنتی به کار رفته برای ارزیابی خواص مکانیکی شامل فشردن میوه بین دو انگشت یا دست‌ها و فشردن یک سمبه به داخل گوشت میوه می‌باشند، آزمون استاندارد نفوذ بر اساس مقاومت میوه در برابر نفوذ یک وسیله سیلندری شکل می‌باشد (Magness and Taylor, 1925). در طی آزمون نفوذ، نفوذسنج بیشترین نیروی لازم را برای هل دادن یک استوانه فلزی درون گوشت میوه تا یک عمق معین وارد می‌کند. نتایج نیروی نفوذ خصوصیات مکانیکی ماده زنده را منعکس می‌کنند و به عنوان یک شاخص از استحکام^{۱۰} میوه به کار می‌روند. دستگاه مورد استفاده برای آزمایش بارگذاری نفوذی تک محوری، دستگاه کشش- فشار اینسترون^{۱۱} مدل H5KS مجهز به لودسل^{۱۲} ۱۰۰ نیوتنی S شکل و دقت ۰/۰۰۱ نیوتن در نیرو و ۰/۰۰۱ میلی‌متر در تغییر شکل بود (شکل ۱). برای انجام هر آزمون نمونه گوجه‌فرنگی از قسمت میانی (با زاویه ۹۰ درجه نسبت به دم‌گل) توسط پروب استوانه‌ای از جنس فولاد ضد زنگ با نوک مسطح و قطر ۴ میلی‌متر (Lien et al., 2009)، تحت بارگذاری قرار گرفت. پس از دادن دستور شروع از طریق رایانه، عامل بارگذاری با سرعت ثابت ۲ میلی‌متر بر ثانیه نمونه را تحت نفوذ قرار داده و هم‌زمان منحنی نیرو- تغییر شکل به وسیله نرم افزار رسم می‌گردید. بدین وسیله منحنی نیرو- تغییر شکل برای همه نمونه‌های آزمایش شده به دست آمده و براساس آن پارامترهای مکانیکی شامل نیرو و تغییر شکل گسیختگی، کار انجام شده برای ایجاد گسیختگی محاسبه شدند.

مشخصات مکانیکی میوه‌ها وابسته به خصوصیات این اجزای اصلی، نحوه قرارگیری، اثر متقابل و فعل و انفعالات میان آن‌هاست (Dintwa et al., 2011). تا به امروز، تحقیقات بسیاری با استفاده از آزمون نفوذ برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی گوجه‌فرنگی صورت گرفته است (Hall, 1987; Batu and Thompson, 1993; Desmet et al., 2002; Thiagu et al., 2006; Lien et al., 2009). داده‌های به دست آمده از آزمون نفوذ وابستگی به ترکیبی از چندین فاکتور مانند تنش^۱ و تنش برشی^۲ و الاستیسیته^۳ پوست و گوشت را مشخص کردند. تفاوت میان خواص مکانیکی در طی آزمون نفوذ^۴ بین ارقام مختلف گوجه‌فرنگی گزارش شده است (Voisey et al., 1970; Hall, 1987).

یکی دیگر از روش‌های بررسی خواص مکانیکی که در ارتباط با بافت داخلی میوه‌ها می‌باشد، آگاهی از رفتار میوه‌ها در اثر عبور جریان الکتریکی از میان بافت درونی میوه می‌باشد. خصوصیت هدایت الکتریکی، چگونگی و توانایی عبور جریان الکتریکی از میان یک ماده را بیان می‌کند و اندازه‌گیری آن میزان مستقیمی از رفتار یونی در محلول‌های الکترولیت مهیا می‌سازد. بنابراین در بسیاری از مواد غذایی که دارای اجزاء یونی مانند اسیدها و نمک‌ها هستند، جریان الکتریکی می‌تواند مسیری را از میان ماده غذایی ایجاد کند و در داخل آن گرما ایجاد کند (Palaniappan and Sastry, 1991). هدایت الکتریکی می‌تواند به عنوان شاخص خوبی از نفوذپذیری^۵ غشاء^۶ به کار رود و ارتباط بالایی با تولید اتیلن، نرم‌شدگی و استحکام را شرح دهد (Ahmed et al., 2010). بررسی منابع نشان داد که تحقیقات اندکی در زمینه مطالعه هدایت الکتریکی گوجه‌فرنگی و ارتباط آن با خواص مکانیکی پس از برداشت صورت گرفته است. از این رو اهداف این تحقیق تعیین برخی خواص مکانیکی و هدایت الکتریکی گوجه‌فرنگی و تعیین اثر زمان انجام آزمون پس از برداشت بر روی این خواص و بررسی ارتباط برخی از خواص مکانیکی با هدایت الکتریکی پس از برداشت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده سازی نمونه‌ها

در این پژوهش، دو رقم پر مصرف پتوارلی سی‌اچ^۷ و نیوتن^۸

- 1- Stress
- 2- Shear stress
- 3- Elasticity
- 4- Penetration test
- 5- Permeability
- 6- Membrane
- 7- Petoerly CH
- 8- Newton

- 9- Moisture content
- 10- Strength
- 11- Instron
- 12- Load cell

نتایج و بحث

میوه گوجه‌فرنگی همانند دیگر مواد زیستی دارای منحنی نیرو- تغییر شکل (S) شکل می‌باشد که در اغلب موارد می‌توان بخش خطی، نقطه تسلیم^۱ و نقطه گسیختگی^۲ را در آن تشخیص داد. منحنی‌های نیرو- تغییر شکل ارقام مورد بررسی در شکل ۳ نشان داده شده‌اند.

به‌منظور ارزیابی اثر متغیرهای مستقل بر پارامترهای مکانیکی و هدایت الکتریکی ارقام گوجه‌فرنگی مورد مطالعه نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که اثر فاکتور اصلی رقم بر روی نیروی گسیختگی و اثر متقابل رقم و زمان انجام آزمون بر روی تغییر شکل گسیختگی معنی‌دار نشده است، در باقی موارد اثرات اصلی فاکتورهای رقم و زمان انجام آزمون و اثرات متقابل فاکتورهای رقم و زمان بر روی تمامی پارامترهای مکانیکی و هدایت الکتریکی در سطح ۱٪ معنی‌دار شده‌اند. تأثیر اثرات متقابل رقم و زمان انجام آزمون با استفاده از آزمون دانکن و تأثیر زمان انجام آزمون بر روی تغییر شکل گسیختگی در شکل‌های ۴ تا ۷ آمده است.

با توجه به شکل‌های ۴ تا ۶ می‌توان گفت افزایش زمان نگاه‌داری باعث کاهش نیروی گسیختگی، تغییر شکل گسیختگی و کار انجام شده برای ایجاد گسیختگی برای هر دو رقم در طی آزمون نفوذ می‌شود که نشان‌دهنده کاهش مقاومت پوست و نرم‌شدگی بافت داخلی میوه پس از برداشت و نگاه‌داری می‌باشد. در روز اول پس از برداشت نیروی گسیختگی برای ارقام مورد بررسی تفاوت معنی‌داری داشتند و از میزان این تفاوت‌ها در طول نگاه‌داری کاسته شد. در تحقیقات قبلی صورت گرفته بر روی خواص مکانیکی گوجه‌فرنگی تحت بارگذاری نفوذی تفاوت معنی‌داری میان نیروی شکست ارقام مورد بررسی گزارش شده است (Desmet *et al.*, 2002; Thiagu *et al.*, 2006; Lien *et al.*, 2009).

کاهش میزان تغییر شکل نمونه‌ها برای رسیدن به شکست نشان می‌دهد که کاوشگر نفوذ با تغییر شکل کمتری وارد نمونه می‌شود و گوجه‌فرنگی را سوراخ می‌کند. تغییر شکل مورد نیاز برای ایجاد گسیختگی رقم نیوتن بیشتر از رقم پتوارلی سی اچ است، که نشانگر مقاومت پوست بالاتر این رقم می‌باشد. برای رقم پتوارلی سی اچ تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ میان تغییر شکل‌ها در روزهای سوم و پنجم وجود ندارد و برای رقم نیوتن تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ میان تغییر شکل‌ها در روزهای اول و سوم انجام آزمون‌ها مشاهده نمی‌شود. در پژوهش‌های قبلی انجام شده بر روی خواص مکانیکی گوجه‌فرنگی تفاوت معنی‌داری میان تغییر شکل‌های گسیختگی میان ارقام مورد بررسی گزارش شده است (Desmet *et al.*, 2002; Thiagu *et al.*, 2006).



شکل ۱- آزمون نفوذ با استفاده از دستگاه اینسترون
Fig.1. Penetration test by Instron apparatus

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی

در این تحقیق برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، عصاره‌ی نمونه‌های گوجه‌فرنگی توسط کاغذ صافی با استفاده از روش تقطیر گرفته شد و هدایت الکتریکی نمونه‌ها با استفاده از هدایت الکتریکی‌سنج JENWAY 4310 (شکل ۲) با دقت ۰/۰۱ میلی‌زیمنس، ولتاژ ۲۳۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتز اندازه‌گیری شد. دمای عصاره‌ی هر دو نمونه پس از هم‌دما شدن با محیط آزمایشگاه 23 ± 0.1 درجه سلسیوس بود. سلول اندازه‌گیری شامل دو الکترود قرار داده شده در روی صفحه یا سیلندر استوانه‌ای شکل و همچنین پروب دما درون سلول نزدیک الکترودها برای اندازه‌گیری دقیق و گزارش دما می‌باشد (شکل ۲)، (Sarang *et al.*, 2008).

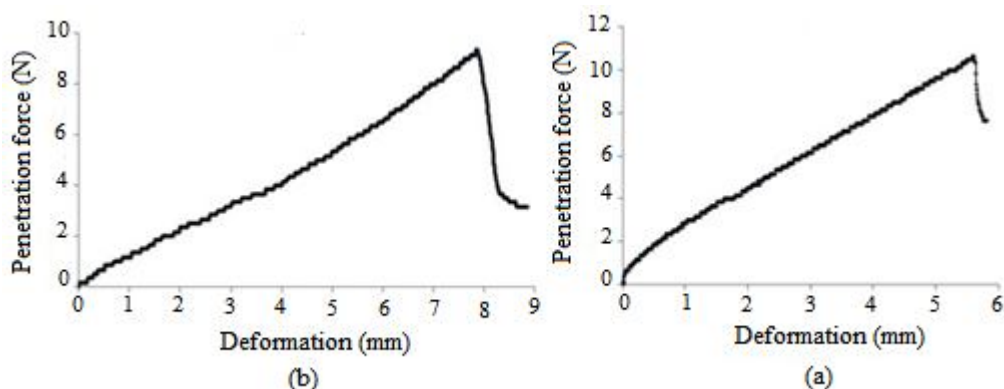


شکل ۲- هدایت الکتریکی سنج
Fig.2. EC meter

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، آزمایش‌ها در قالب آزمون فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو متغیر مستقل رقم و زمان انجام آزمون پس از برداشت انجام شد. متغیرهای وابسته نیروی شکست، تغییر شکل شکست، کار انجام شده برای ایجاد گسیختگی و هدایت الکتریکی بودند. اندازه‌گیری تمام متغیرهای وابسته در سه سطح زمانی یک، سه و پنج روز پس از برداشت و در هشت تکرار انجام گرفت. تجزیه و تحلیل‌های آماری و رسم نمودارها به کمک نرم افزارهای Excel 2007، SPSS 16.0 و SigmaPlot 12.0 انجام شد.

1- Yield point

2- Rupture point



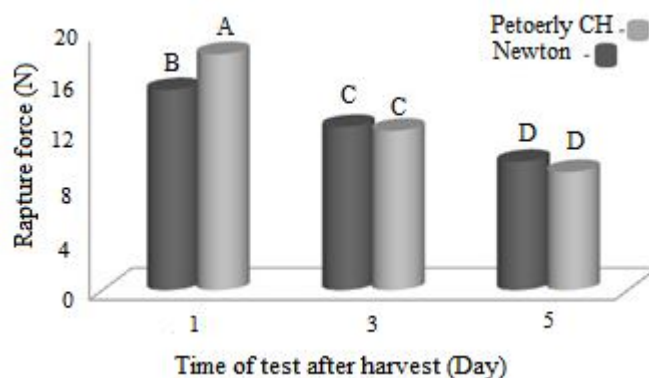
شکل ۳- منحنی نیرو- تغییر شکل گوجه‌فرنگی؛ (a) رقم پتوآرلی سی اچ، (b) رقم نیوتن
 Fig.3. Force – deformation diagram for tomato during penetration test; (a) Petoerly CH, (b) Newton

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر زمان انجام آزمون و رقم بر روی پارامترهای مکانیکی و هدایت الکتریکی

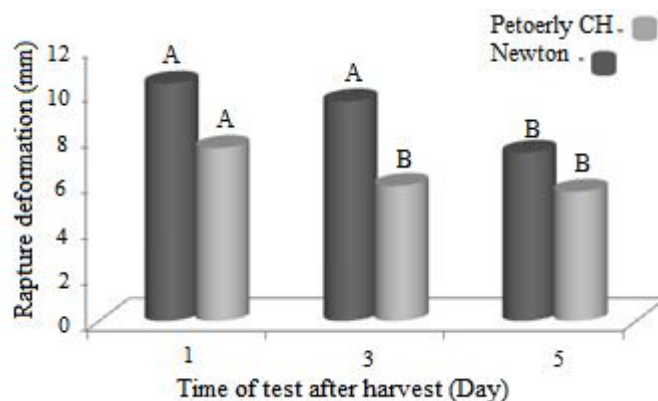
Table 1- The results of variance analysis for the effect of time and variety on mechanical parameters and electrical conductivity

هدایت الکتریکی EC	کار گسیختگی Rupture Work	تغییر شکل گسیختگی Rupture Deformation	نیروی گسیختگی Rupture Force	میانگین مربعات Mean of square				درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variation
				هدایت الکتریکی EC	کار گسیختگی Rupture Work	تغییر شکل گسیختگی Rupture Deformation	نیروی گسیختگی Rupture Force		
1038**	24.536**	20.447**	33.263**	8.271	0.004	29.517	94.414	5	تیمار (Treatment)
4835**	13.592**	62.766**	1.368 ^{ns}	38.533	0.002	90.611	3.822	1	رقم (Variety)
126.060**	48.083**	16.966**	77.187**	1.005	0.007	24.493	219.090	2	زمان انجام آزمون Time of test
51.129**	6.462**	2.767 ^{ns}	5.286**	0.407	0.001	15.004	15.004	2	رقم* زمان Variety*Time

** Significant at 1% of probability levels, ^{ns} Non. Significant ^{ns} غیر معنی‌دار ۱ درصد، ** معنی دار در سطح ۱ درصد

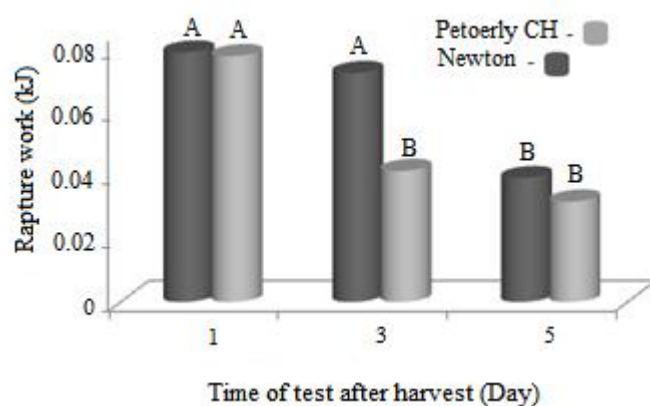


شکل ۴- اثرات متقابل زمان انجام آزمون پس از برداشت و رقم بر روی نیروی گسیختگی در طی آزمون نفوذ
 Fig.4. Interaction effects of test time after harvesting and variety on failure force during the penetration test



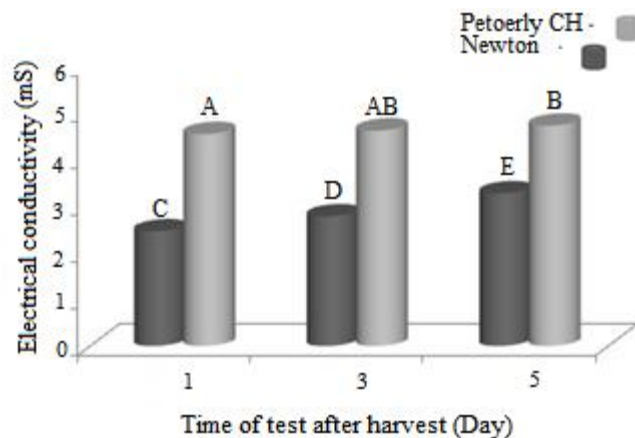
شکل ۵- اثرات متقابل زمان انجام آزمون پس از برداشت و رقم بر روی تغییر شکل شکست در طی آزمون نفوذ

Fig.5. Interaction effects of test time after harvesting and variety on failure deformation during the penetration test



شکل ۶- اثرات متقابل زمان انجام آزمون پس از برداشت و رقم بر روی کار انجام شده برای ایجاد گسیختگی در طی آزمون نفوذ

Fig.6. Interaction effects of test time after harvesting and variety on failure work during the penetration test



شکل ۷- اثرات متقابل زمان انجام آزمون پس از برداشت و رقم بر روی هدایت الکتریکی در دمای ۲۰°C

Fig.7. Interaction effects of test time after harvesting and variety on electrical conductivity at 20°C

نگهداری می‌باشد. در روز اول انجام آزمون تفاوت چندانی بین دو رقم مشاهده نمی‌شود، در روز سوم انجام آزمون میزان تفاوت زیاد شده است و در روز پنجم پس از برداشت از میزان تفاوت کاسته شده است

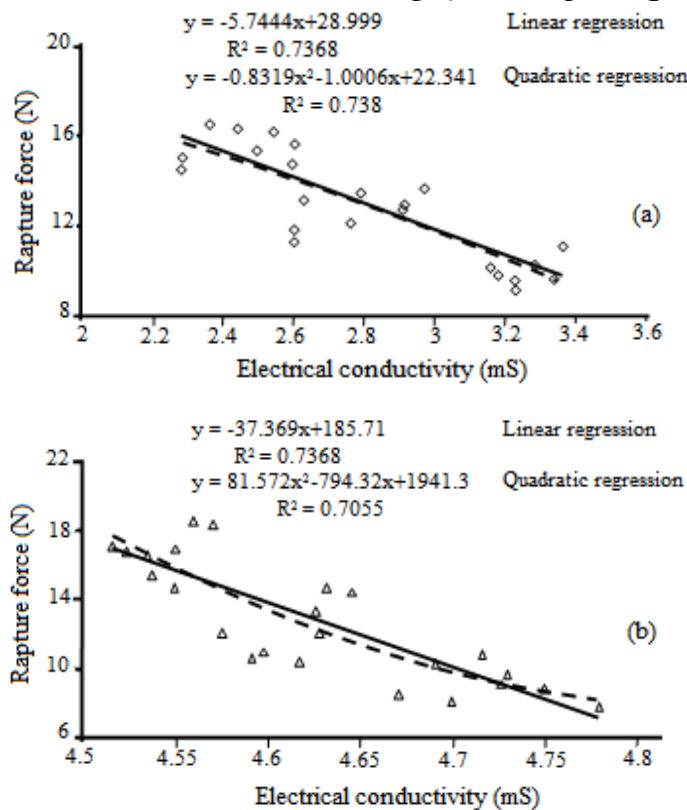
در پی افزایش زمان انجام آزمون پس از برداشت، کاوشگر نفوذ با انرژی کمتری وارد نمونه می‌شود و گوجه‌فرنگی را دچار گسیختگی می‌کند که در ارتباط با نرم‌شدگی هر دو رقم پس از برداشت و

اندازه‌گیری شده در همه سطوح روزهای آزمون مشاهده شده است. در تحقیقات قبلی ارقام هدایت الکتریکی ویژه در محدوده ۱/۶-۰/۵ زیمنس بر متر در دماهای ۸۰-۲۰ درجه سلسیوس برای مایعات با ویسکوزیته پایین مانند عصاره‌ی پرتقال، گوجه‌فرنگی و هویج گزارش شده است (Palaniappan and Sastry, 1991). بررسی‌ها نشان می‌دهد که هدایت الکتریکی میوه‌ها تفاوت قابل توجهی دارند که مربوط به بافت‌های متفاوت آن‌ها می‌باشد، این نتایج توسط محققان دیگر در طی فرآیند رسیدن میوه‌ها مورد تأیید قرار گرفته است؛ برای مثال بین و همکاران (۱۹۶۰) آووکادو، باچت و همکاران (۲۰۰۰) میوه کیوی، احمد و همکاران (۲۰۱۰) آووکادو. همان‌طور که در بخش‌های قبل ملاحظه شد، اثر زمان انجام آزمون پس از برداشت در طی آزمون نفوذ، بر روی همه‌ی خواص مکانیکی مورد بررسی و هدایت الکتریکی معنی‌دار شد، در این بخش امکان‌سنجی ارائه‌ی مدل برای تحلیل ارتباط میان خواص مکانیکی و هدایت الکتریکی با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی و غیرخطی بررسی می‌شود و در صورت معنی‌دار شدن، مناسب‌ترین مدل مورد بحث قرار می‌گیرد. نمودار تغییرات پارامترهای مکانیکی مورد بررسی برحسب تغییرات هدایت الکتریکی در زمان‌های متفاوت آزمون پس از برداشت برای نمونه‌های هر دو رقم در اشکال ۸ تا ۱۰ آمده است.

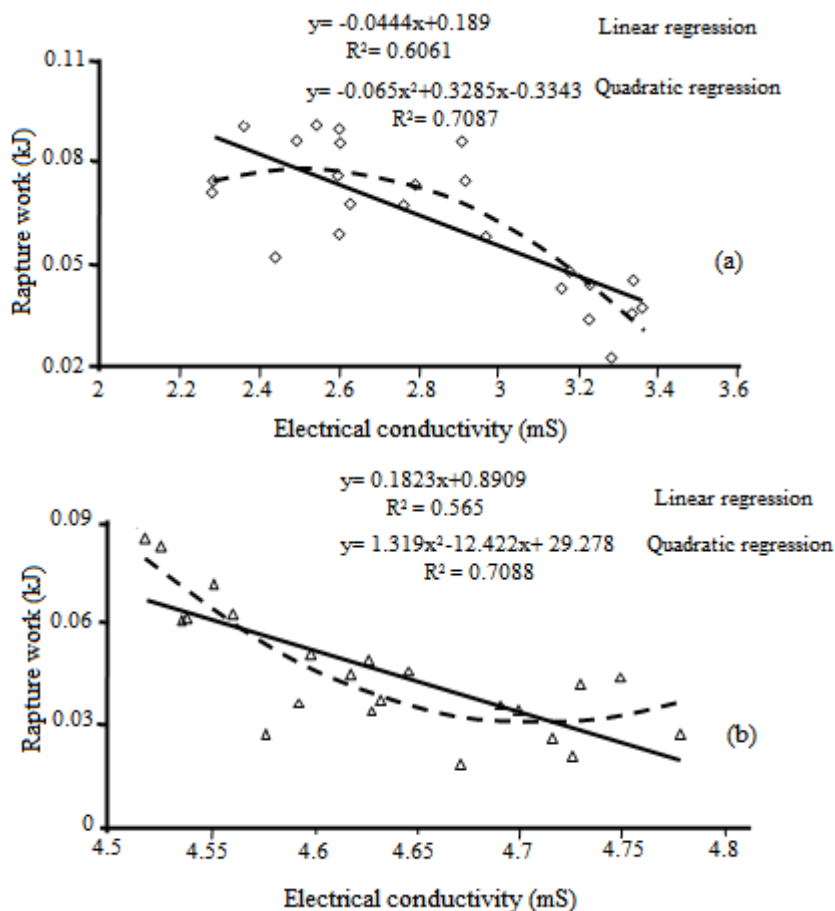
که احتمالاً به دلیل بافت گوجه‌فرنگی است که با رقم تغییر می‌نماید. در پژوهش‌های صورت گرفته بر روی خواص مکانیکی گوجه‌فرنگی تفاوت معنی‌داری میان کار انجام شده برای ایجاد گسیختگی گزارش شده است (Desmet et al., 2002; Devaux et al., 2005; Thiagu et al., 2006).

تحقیقاتی بر روی خواص مکانیکی دیگر میوه‌ها با استفاده از آزمون نفوذ انجام شده است که حاکی از تفاوت معنی‌دار میان خواص مکانیکی میوه‌های مورد مطالعه می‌باشد؛ برای مثال زود و همکاران (۲۰۰۶) بر روی سیب، وانگ و همکاران (۲۰۰۶) بر روی هلو، هارکر و همکاران (۱۹۹۶) بر روی میوه کیوی و سیب، تامسون و همکاران (۱۹۹۲) بر روی خیار تحقیق خود را انجام داده‌اند.

با توجه به شکل ۷ هدایت الکتریکی هر دو رقم با افزایش زمان نگهداری افزایش یافته است که نشانگر افزایش تحرک یونی و از بین رفتن یکپارچگی غشاء سلولی در هر دو رقم با افزایش زمان نگهداری می‌باشد. هدایت الکتریکی رقم پتورلی سی اچ در همه زمان‌های آزمون بیشتر از رقم نیوتن می‌باشد که با توجه به ثابت بودن دما مربوط به تفاوت بافت دو رقم و تفاوت در تحرک یونی و مواد جامد محلول دو رقم می‌باشد. برای رقم پتورلی سی اچ تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ میان هدایت الکتریکی روزهای اول و پنجم وجود دارد و برای رقم نیوتن تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ میان هدایت الکتریکی



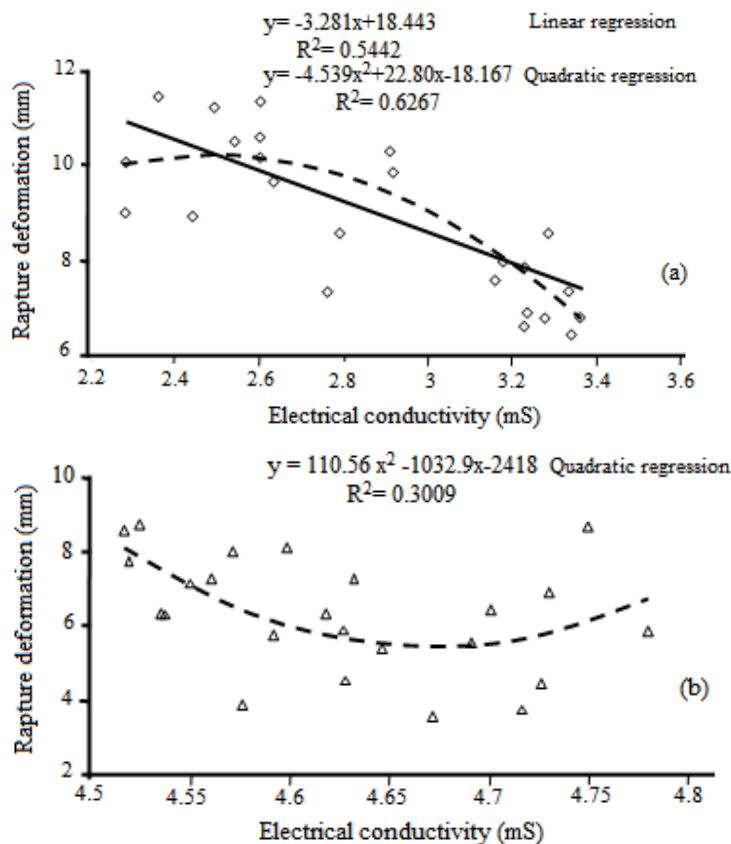
شکل ۸- تغییر نیروی گسیختگی برحسب هدایت الکتریکی؛ (a) رقم نیوتن، (b) رقم پتورلی سی اچ
Fig.8. Change of rapture force according to EC; (a) Petoerly CH, (b) Newton



شکل ۹- تغییر شکل گسیختگی برحسب هدایت الکتریکی؛ (a) رقم نیوتن، (b) رقم پتوآلی سی اچ
Fig.9. Change of rupture deformation according to EC; (a) Petoerly CH, (b) Newton

خوبی از نفوذپذیری غشاء به کار برود و ارتباط بالایی با تولید اتیلن، نرم‌شدگی و استحکام دارد (Ahmed *et al.*, 2010). مدل‌های جدول ۲ با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی و درجه دوم برای پیش‌بینی پارامترهای مکانیکی برحسب هدایت الکتریکی ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود برای ارتباط پارامترهای مورد بررسی دو مدل خطی و درجه‌ی دو پیشنهاد شده است. مدل‌های خطی ارائه شده برای هر دو رقم، برای ارزیابی نیروی شکست برحسب هدایت الکتریکی مناسب می‌باشند. مدل‌های به‌دست آمده برای پیش‌بینی تغییر شکل گسیختگی دارای ضرایب تبیین پایینی هستند که قابل استناد برای بررسی رابطه نزدیک میان تغییر شکل شکست و هدایت الکتریکی نمی‌باشند، بنابراین در این تحقیق هدایت الکتریکی نمی‌تواند توصیف خوبی برای ارزیابی تغییر شکل شکست ارائه دهد. برای پیش‌بینی کار گسیختگی برحسب هدایت الکتریکی، مدل‌های درجه‌ی دوم برای هر دو رقم دارای ضرایب تبیین بالاتر و مناسب‌تر می‌باشند.

با توجه به این‌که پارامترهای مکانیکی مورد مطالعه رابطه‌ی نزدیکی با تغییرات بافت در مدت زمان نگه داری دارند، بنابراین با نرم‌شدگی بافت و کاهش مقاومت میوه، تحرک یونی و در پی آن هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. شکل‌های ۸ تا ۱۰ نشان می‌دهند که وقتی پارامترهای مکانیکی و هدایت الکتریکی نمونه‌های دو رقم که آزمون‌های هدایت الکتریکی و نفوذ بر روی آن‌ها انجام گرفته است بر روی یک نمودار رسم شوند، می‌توان مدلی را با استفاده از تحلیل رگرسیون برای ارزیابی این خواص پیشنهاد داد. در تحقیقات قبلی انجام شده با بررسی رابطه‌ی میان هدایت الکتریکی و نرم‌شدگی که مربوط به خواص مکانیکی می‌باشد، نشان داده شده است که خواص مکانیکی میوه‌ها به‌صورت قابل توجهی تدریجاً پس از برداشت و در طی فرآیند رسیدن در دمای محیط کاهش پیدا خواهد کرد و این کاهش به‌طور مثبت با افزایش هدایت الکتریکی بافت‌های میوه در ارتباط می‌باشد که بیانگر از دست رفتن یکپارچگی سلول‌های غشاء سلولی می‌باشد. این افزایش در هدایت الکتریکی با فرآیند رسیدن افزایش پیدا خواهد کرد. هدایت الکتریکی می‌تواند به‌عنوان شاخص



شکل ۱۰- تغییر کار گسیختگی برحسب هدایت الکتریکی؛ (a) رقم نیوتن، (b) رقم پتواری سی اچ
Fig.10. Change of rupture work according to EC; (a) Petoerly CH, (b) Newton

جدول ۲- مدل‌های ارائه شده برای تعیین پارامترهای مکانیکی برحسب هدایت الکتریکی

Table 2- Proposed models to determine the mechanical parameters based on the electrical conductivity

F	مدل Model	R ²	محصول Product	پارامتر مکانیکی Mechanical parameter
46.640**	F= -37.369 EC + 185.710	0.690	پتواری سی اچ	نیروی گسیختگی Rupture force
23.960**	F= 81.572 EC ² - 794.322 EC + 1941.265	0.700	Petoerly CH	
61.590**	F= -5.744 EC + 28.999	0.736	نیوتن	تغییر شکل گسیختگی Rupture deformation
29.580**	F= -0.832 EC ² - 1.001 EC + 22.341	0.738	Newton	
ns	-	-	پتواری سی اچ	کار انجام شده برای ایجاد گسیختگی Rupture work
4.519*	F= 110.563 EC ² - 1032.93 EC + 2418.018	0.301	Petoerly CH	
26.269**	F= -3.281 EC + 18.443	0.544	نیوتن	کار انجام شده برای ایجاد گسیختگی Rupture work
17.625**	F= -4.574 EC ² - 22.802 EC + 18.167	0.627	Newton	
27.279**	F= -0.182 EC + 0.891	0.565	پتواری سی اچ	کار انجام شده برای ایجاد گسیختگی Rupture work
24.341**	F= 1.319 EC ² - 12.422 EC + 29.278	0.709	Petoerly CH	
33.853**	F= -0.044 EC + 0.189	0.606	نیوتن	کار انجام شده برای ایجاد گسیختگی Rupture work
25.541**	F= 0.0654 EC ² + 0.328 EC -0.334	0.709	Newton	

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns غیر معنی‌دار
 **, * Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ns Non. Significant

است که بیانگر کاهش مقاومت پوست و بافت داخلی گوجه‌فرنگی می‌باشد. هدایت الکتریکی با افزایش زمان نگهداری افزایش پیدا کرد که ناشی از افزایش تحرک یونی به دلیل نرم‌شدگی بافت میوه پس از برداشت می‌باشد. در بین خواص مکانیکی نیروی گسیختگی و کار گسیختگی بیشترین همبستگی را با هدایت الکتریکی داشتند. هدایت الکتریکی می‌تواند توصیف خوبی برای نیروی شکست و کار گسیختگی ارائه دهد و با آزمایش‌های دقیق‌تر می‌توان به ضرایب تبیین بالاتر نیز دست یافت.

در بین خواص مکانیکی نیروی گسیختگی و کار گسیختگی بیشترین همبستگی را با هدایت الکتریکی داشتند. ضمن اینکه اثر پارامترهای تأثیرگذار بر روی خواص مکانیکی و هدایت الکتریکی نیز باید مورد بررسی قرار بگیرند تا به نتایج مطلوب‌تری رسید.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که خواص مکانیکی مورد بررسی در طی بارگذاری نفوذی با افزایش مدت زمان نگهداری روندی کاهشی داشته

منابع

1. Ahmed, D. M., R. M. Yousef, and S. A. Hassan. 2010. Relationship between electrical conductivity, softening and color of Fuerte avocado fruits during ripening. *Agriculture and Biology Journal of North America* 1 (5): 878-885.
2. AOAC. 1984. Official methods of analysis association of official chemists. Washington, DC. Available from: <http://www.aoac.org>. Accessed 2 August 2012.
3. Bargel, H., and C. Neinhuis. 2005. Tomato (*Lycopersicon esculentum* M.) fruit growth and ripening as related to the biomechanical properties of fruit skin and isolated cuticle. *Journal of Experimental Botany* 56: 1049-1060.
4. Batu, A., and A. K. Thompson. 1993. The effects of cross-head speed and probe diameter on instrumental measurement of tomatoes firmness. *Journal of Agricultural Engineering* 36: 1340-1345.
5. Bauchot, A. D., F. R. Harker, and W. M. Arnold. 2000. The use of electrical impedance spectroscopy to assess the physiological condition of kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology* 18: 9-18.
6. Bean, R. C., J. P. Rasor, and G. G. Porter. 1960. Changes in electrical characteristics of avocados during ripening. *California Avocado Society* 44: 75-78.
7. Desmet, M., J. Lammertyn, B. E. Verlinden, and B. M. Nicolai. 2002. Mechanical properties of tomatoes as related to puncture injury susceptibility. *Journal of Texture Studies* 33 (5): 415-429.
8. Devaux, M. F., A. Barakat, P. Robert, B. Bouchet, F. Guillon, B. Navez, and M. Lahaye. 2005. Mechanical breakdown and cell wall structure of mealy tomato pericarp tissue. *Postharvest Biology and Technology* 37 (3): 209-221.
9. Dintwa, E., P. Jancsok, H. K. Mebatsion, B. Verlinden, P. Verboven, C. X. Wang, and C. R. Thomas. 2011. A finite element model for mechanical deformation of single tomato suspension cells. *Journal of Food Engineering* 103 (3): 265-272.
10. Food and Agricultural Organization, FAO. 2010. Available from: <http://www.fao.org>. Accessed 6 August 2012.
11. Hall, C. B. 1987. Firmness of tomato fruit tissues according to cultivar and ripeness. *Journal of American Society Horticultural Science* 112: 663-665.
12. Harker, F. R., J. H. Maindonald, and P. J. Jackson. 1996. Penetrometer measurement of apple and kiwifruit firmness: Operator and Instrument Differences. *Journal of American Society and Horticulture Science* 121 (5) : 927-936
13. Hetzronia, A., A. Vanab, and A. Mizraha. 2011. Biomechanical characteristics of tomato fruit peels. *Postharvest Biology and Technology* 59: 80-84.
14. Lien, C. C., C. Ay, and C. H. Ting. 2009. Non-destructive impact test for assessment of tomato maturity. *Journal of Food Engineering* 91: 402-407.
15. Magness, J. R., and G. F. Taylor. 1925. Unimproved type of pressure tester for the determination of fruit maturity. U. S. Department of Agricultural.
16. Mohammadi Aylar, S., S. Minaee, A. H. Afkari Sayyah, M. Shahidzade, and A. Asghari. 2008. Mechanical properties of tomato under compressive loading during different stages of ripening after harvest. *Iranian Journal of Biosystem Engineering* 42 (2): 191-196. (In Farsi).

17. Palaniappan, S., and S. K. Sastry. 1991. Electrical conductivity of selected juices: influences of temperature, solids content, applied voltage, and particle size. *Journal of Food Process Engineering* 14: 247-260.
18. Sarang, S., S. K. Sastry, and L. Knipe. 2008. Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *Journal of Food Engineering* 87: 351-356.
19. Thiagu, R., N. Chand, and K. V. R. Ramana. 2006. Evolution of mechanical characteristics of tomatoes of two varieties during ripening. *Journal of Food Science and Agriculture* 62 (2): 175-183.
20. Thompson, R. L., H. P. Fleming, and D. D. Hamann. 1992. Delineation of puncture forces for exocarp and mesocarp tissues in cucumber fruit. *Journal of Texture Studies* 23: 169-184.
21. Voisey, P. W., L. H. Lyall, and M. Kloek. 1970. Tomato skin strength its measurement and relation to cracking. *Journal of American Society Horticulture Science* 95: 485-488.
22. Wang, J., B. Teng, and Y. Yu. 2006. The firmness detection by excitation dynamic characteristics for peach. *Food Control* 17: 353-358.
23. Zude, M., B. Herold, J. M. Roger, V. B. Maurel, and S. Landahl. 2006. Non-destructive tests on the prediction of apple fruit flesh firmness and soluble solids content on tree and in shelf life. *Journal of Food Engineering* 77: 254-260.